

EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR PREFABRICADA: CASA PATIO 2.12

¹Moreno Rangel, D.; ²Terrados Cepeda, J.; ³Fernández Expósito, M.

¹Grupo de investigación TEP 130: "Arquitectura, Patrimonio y Sostenibilidad: Acústica, Iluminación y Energía". Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción de la Universidad de Sevilla.

²Grupo de investigación RNM 909: "Vivienda Eficiente y Reciclaje Urbano".
Universidad de Sevilla.

C/ José Laguillo 27, Bloque 7, Local 1B. 41003 Sevilla.

e-mail: ³manuelfernandez@estudioheliopausa.com

RESUMEN

La arquitectura es gran consumidora de recursos energéticos, por ello creemos firmemente que la forma de realizar una arquitectura más sostenible también puede ser mediante reinterpretaciones de los modos tradicionales constructivos y tipológicos de cada lugar. Patio 2.12 aprovecha las condiciones espaciales y bioclimáticas de la casa patio andaluza para obtener una mayor eficiencia energética.

En la búsqueda de un diálogo, integración y negociación entre arquitectura, bioclimatismo y eficiencia energética, el proyecto ha mantenido una tensión constante en el proceso de diseño. Este artículo tiene como objetivo explicar cómo se utilizan todas las bondades del modelo tradicional andaluz mediante su transformación en estrategias pasivas o semi-pasivas que unidas a la realización de exhaustivas simulaciones informáticas, vienen a corroborar que la reinterpretación del modelo de casa patio andaluz pueden llevar a una contundente reducción del gasto energético y una clara mejora de la sostenibilidad. Estas estrategias están centradas en el estudio de aspectos sobre la envolvente, sistemas pasivos o sistemas activos, buscando una máxima integración entre lo tradicional y lo tecnológico, que hace evidente y necesario que sean aplicables a cualquier diseño de vivienda unifamiliar.

Este proyecto, presentado al prestigioso concurso Solar Decathlon Europe 2012 que impulsa la investigación en el desarrollo de viviendas eficientes, fue premiado con un total de ocho premios, entre ellos: el primero en eficiencia energética, primero en balance energético o segundo en sostenibilidad. Logrando así, el segundo puesto en la clasificación general del concurso.

Keywords: casa-patio; prefabricada; bioclimático; evapotranspiración.

1.- Introducción.

En el proyecto Patio 2.12 se ha intentado aunar aspectos habitualmente separados como son arquitectura, bioclimatismo y eficiencia energética. El pensamiento bioclimático introduce la idea fundamental del aprovechamiento de los recursos naturales, de una manera consciente y lógica, por ello propone la utilización de recursos locales. En este sentido el proyecto aboga por una economía constructiva, basada en estudios del patrimonio andaluz, que es llevado al presente mediante un lenguaje arquitectónico contemporáneo en la apuesta por la durabilidad y versatilidad, al tiempo que reciclabilidad.

De ahí que de la tradicional casa-patio andaluza, y del efecto bioclimático más popular andaluz: la evapotranspiración del botijo (recipiente de barro cocido poroso, diseñado para beber y conservar fresca el agua), surge una lectura transversal de reinterpretación que es traducida en Patio 2.12, y que va a ser el motor que dinamizará todas las estrategias de ahorro energético que han sido aplicadas a este edificio.

Ello nos permite tomar las mejores cualidades de cada una de ellas, pero tecnificándolas hacia el presente, haciéndolas más ecoeficientes (fig.1).



fig. 1 “reinterpretación de la tradición y economía constructiva”

El prototipo Patio 2.12, presentado al concurso Solar Decathlon 2012, se basa en una vivienda unifamiliar compuesta por cuatro módulos prefabricados: dormitorio, salón, cocina, y módulo técnico. Con distribución en torno a un patio interior, cada estancia se comporta de manera independiente, aunque su múltiple configuración permite una lectura integral de los espacios (fig.2).

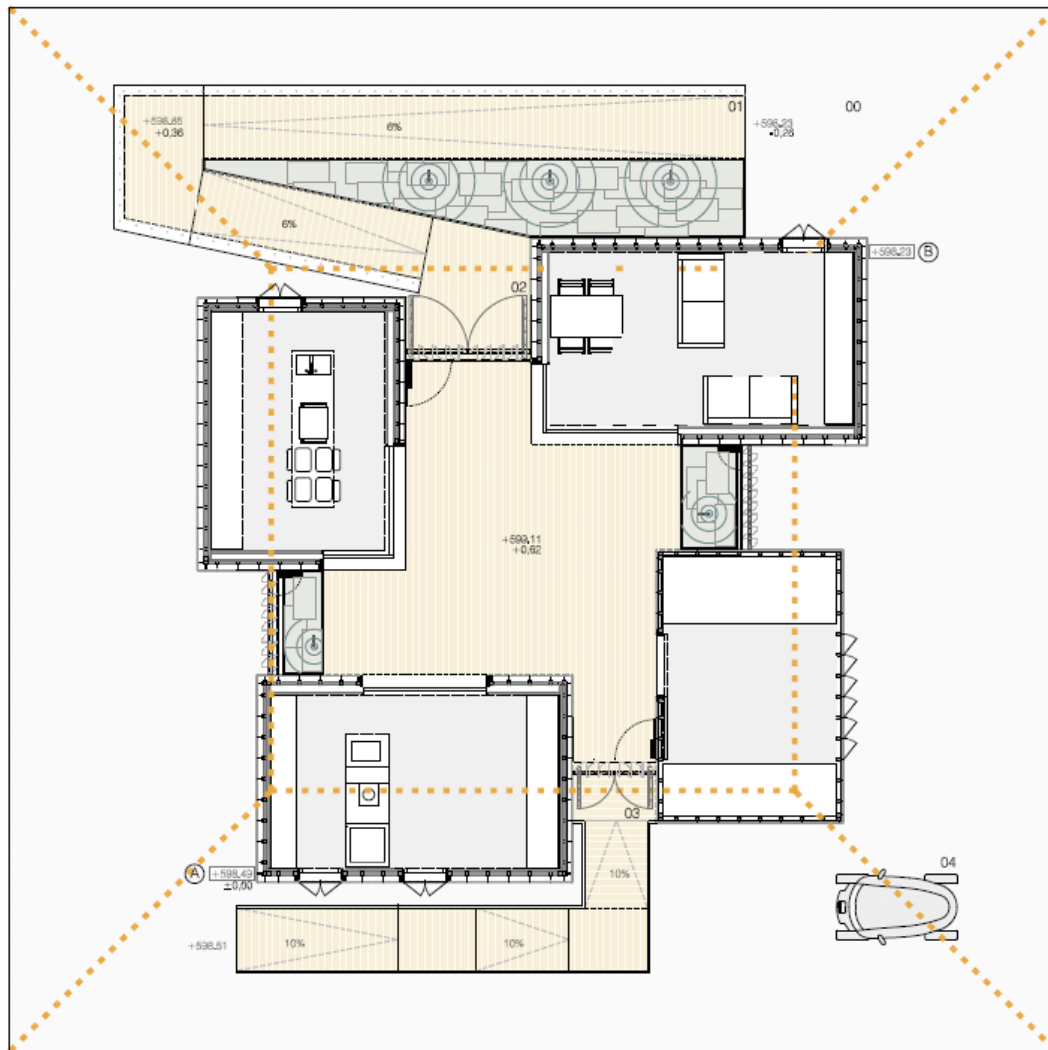


fig. 2 “Planta Patio 2.12”

2.- Objetivos.

Definición de estrategias bioclimáticas y líneas de actuación, traducidas en estrategias pasivas y semi-pasivas, basándose en que la forma de realizar una arquitectura más sostenible puede ser mediante reinterpretaciones de los modos tradicionales constructivos. Por tanto, la finalidad será dar validez a dichas hipótesis cuantificando la sostenibilidad y la eficiencia energética del prototipo de vivienda casa patio 2.12.

3.- Metodología.

Partiendo de un trabajo previo de indagación y análisis, es iniciado un proceso de diseño bioclimático basado en el modelo de construcción tradicional que nos ocupa, proponiendo mejoras sobre este, llevando a cabo un exhaustivo estudio mediante simulaciones informáticas y comprobación con la puesta en funcionamiento del prototipo real.

Esto permite ratificar y apostar por determinadas soluciones gracias a la confrontación de los datos simulados y reales.

4.- Resultados.

A continuación, se describen los resultados obtenidos tras este proceso, que mejorarían la sostenibilidad y la eficiencia energética de cualquier vivienda

unifamiliar y que hicieron que este prototipo se alzase con un total de ocho premios, entre ellos el primer premio de Eficiencia Energética y balance energético y el segundo premio de Sostenibilidad, en su participación en el concurso Solar Decathlon Europe 2012.

4.1.- Diseño de la envolvente.

Aspectos biofísicos, tanto climáticos-térmicos, como a los acústicos que han de tenerse en cuenta en la envolvente de nuestro edificio.

4.1.1- Aislamiento térmico.

El cerramiento se proyecta con una transmitancia térmica muy baja entre 0,07 y 0,20 W/m²K (tabla 1) [1]. Para optimizar la delgadez, el material aislante de lana mineral MW de alta densidad es introducido entre los elementos estructurales: cubierta, suelo y fachadas.

ELEMENTO	TRANSMITANCIA	MATERIAL	ESPESOR
Fachada	0,20	Cerámica	0,023
		Cámara de aire	0,05
		Aislamiento reflexivo	0,010
		Panel OSB	0,010
		Aislamiento lana mineral	0,070
		Panel Sandwich	0,059
		PCM	0,010
		Placas de Corcho	0,011
Suelo	0,07	Aislamiento lana mineral	0,190
		Aislamiento lana mineral	0,200
		Panel Sandwich	0,059
		Placas de Corcho	0,011
Cubierta	0,12	Panel Fotovoltaico	0,046
		Cámara de aire	0,050
		Lámina impermeabilizante	0,020
		Panel Sandwich	0,079
		Aislamiento lana mineral	0,140
		Panel OSB	0,010
		Aislamiento lana mineral	0,050
		Cartón Yeso	0,013
		Placas de Corcho	0,011

Tabla. 1 “Transmitancia de la envolvente”

El cerramiento exterior incluye un aislante reflexivo que permite expulsar el exceso de radiación procedente de la capa cerámica y eliminar el puente térmico generado por los elementos de madera (fig.2).

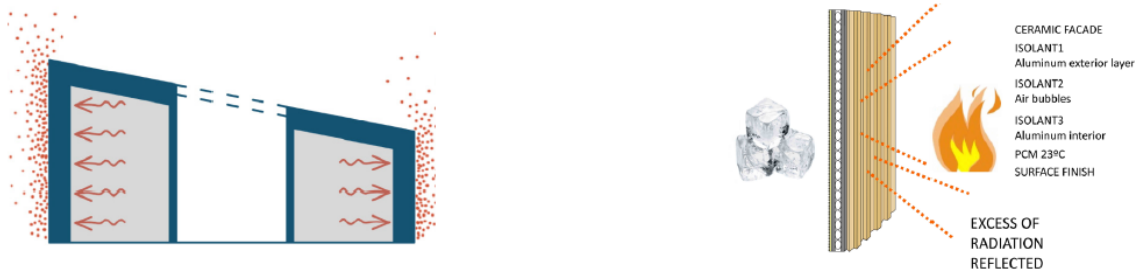


Fig. 2 “Esquema de la acción del aislamiento térmico en la envolvente”

4.1.2.- Estanqueidad.

Recientes investigaciones en viviendas Andaluzas realizadas por la Universidad de Sevilla demuestran como más del 60% del consumo energético proviene de superar las cargas de climatización. Por tanto, se ha buscado tener gran estanqueidad y mínimas infiltraciones, teniendo especial atención a la hora de la ejecución (fig.3).

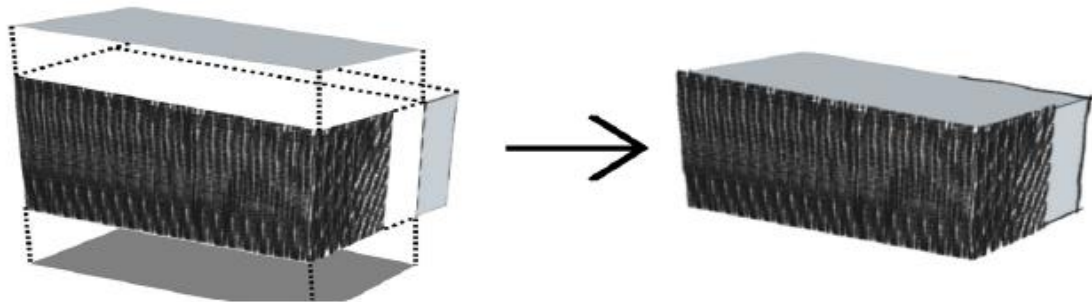


Fig. 3 “Estanqueidad de la envolvente”

4.1.3.- Inercia térmica.

En Patio 2.12, se ha analizado el efecto de incorporar una superficie de terminación de PCM, un material de cambio de estado que ayuda a simular el efecto de una capa de gran masa térmica, pero de gran delgadez, ahorrando energía para en acondicionamiento.

Para el diseño de la envolvente, se ha llevado a cabo un proceso iterativo con numerosas simulaciones térmicas [2], que nos permiten conocer la temperatura exterior e interior y por tanto el grado de amortiguamiento y carácter pasivo de la envolvente [3] (fig.4 y 5).

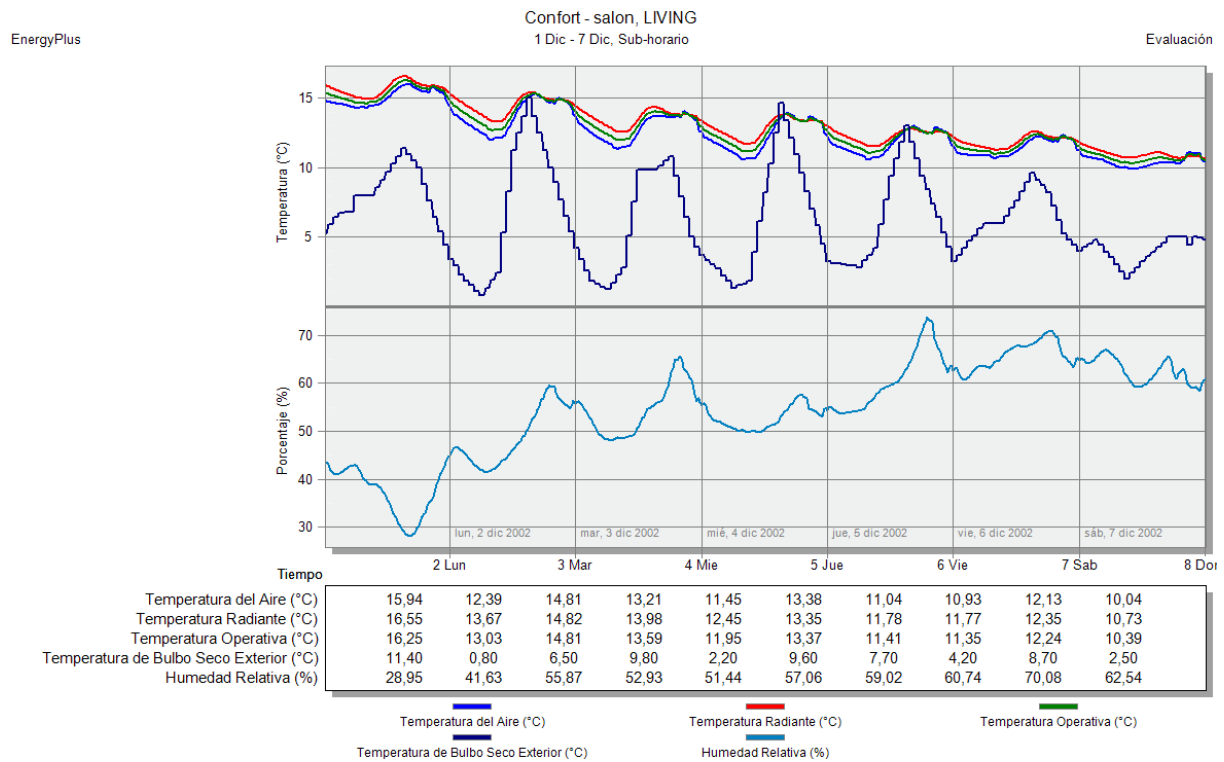
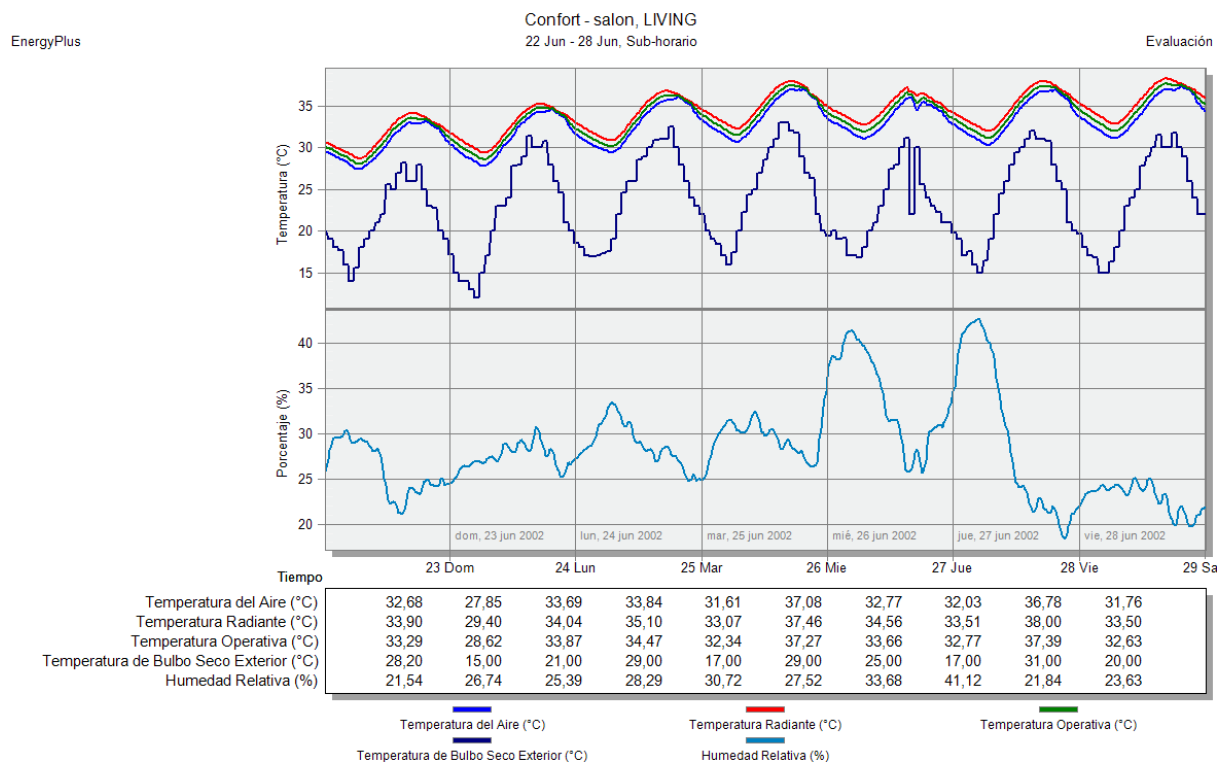


Fig. 4 “Temperaturas durante semana de diciembre”



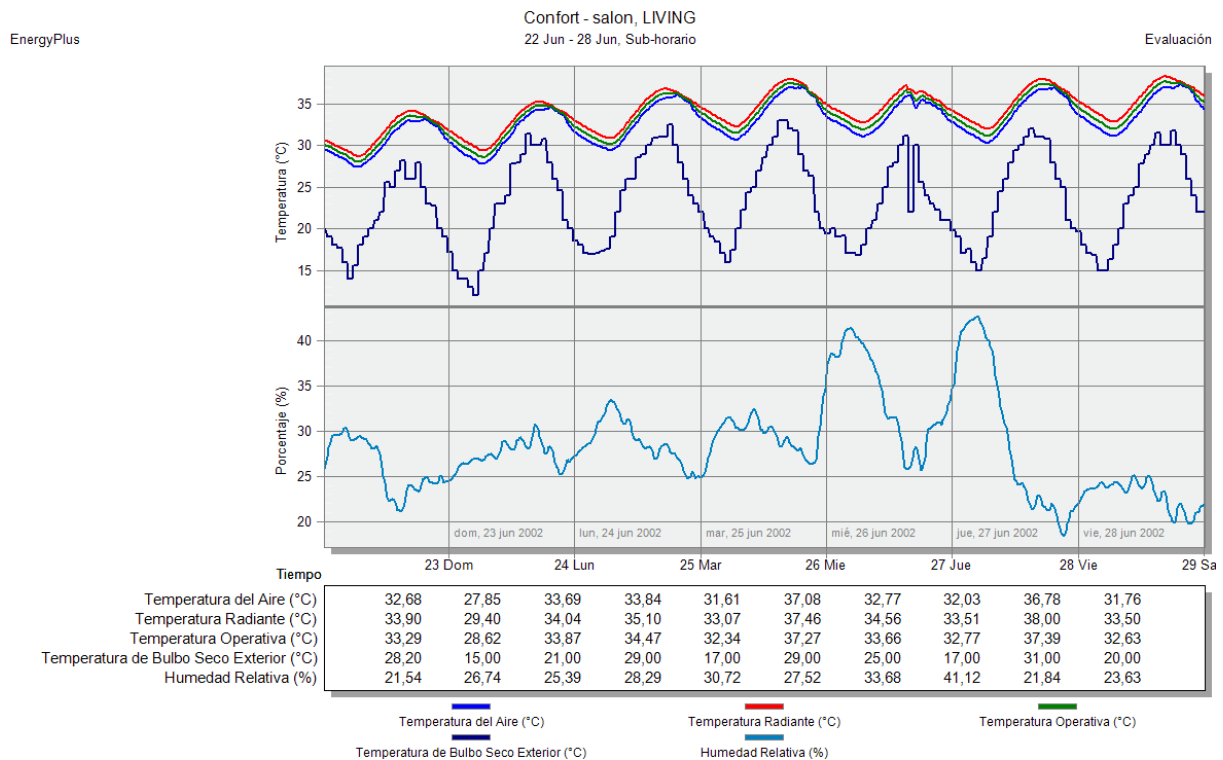


Fig. 5 “Temperaturas durante semana de junio”

Durante la competición, se realizaron una serie de simulaciones comprobando que el material de cambio de estado no era necesario que fuese incorporado ya que como muestra la gráfica (fig. 6) el propio carácter de la envolvente mantenía el interior del módulo en temperatura de confort.

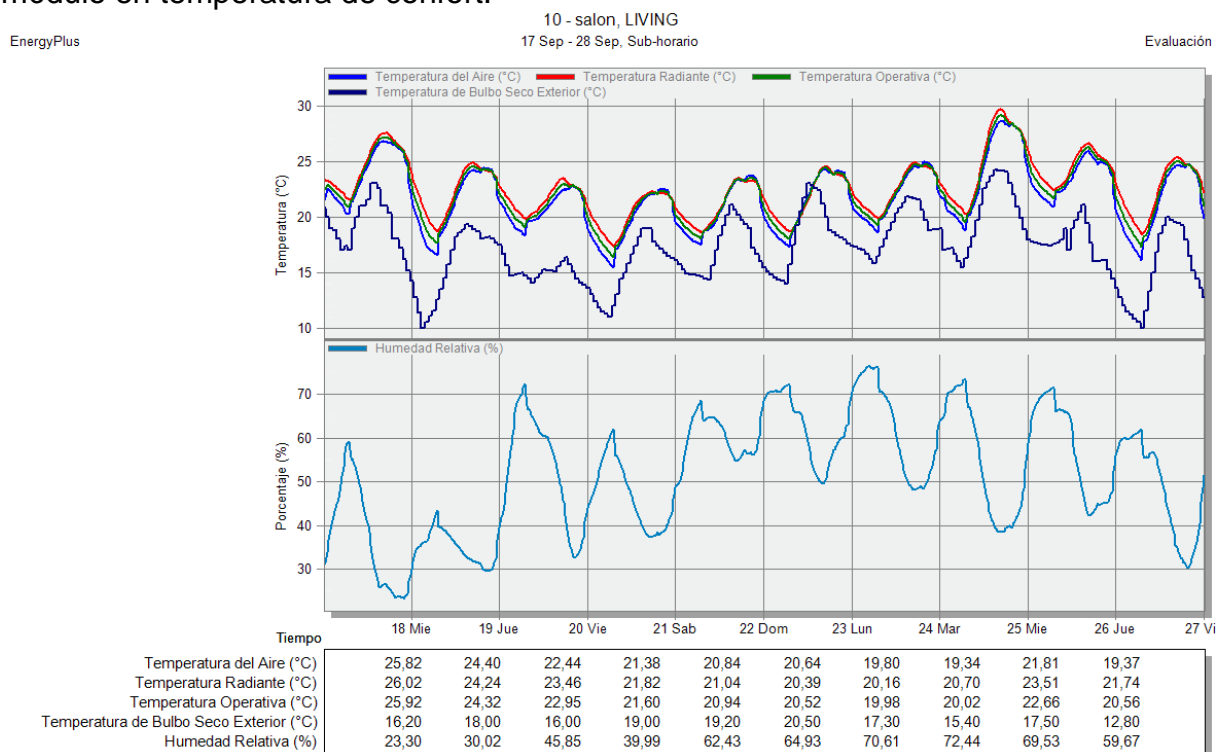


Fig. 6 “Temperaturas durante la competición”

Las distintas gráficas demuestran la clara mejora de la eficiencia energética de nuestro prototipo, puesto que conseguimos aproximarnos a las condiciones de

confort en el interior de nuestro módulo obteniendo, sin hacer uso de los sistemas activos, un consumo cero. Por tanto, se hace necesario replantear este tipo de estrategias a tener en cuenta para el diseño de cualquier envolvente.

4.1.4.- Aislamiento acústico.

La envolvente del edificio no sólo asegura el efecto pasivo de la vivienda, sino que, por el tipo de aislante instalado, también asegura una fuerte absorción acústica a ruido aéreo y de impacto, cumpliendo sobradamente con el CTE HR.

Además se ha tenido especial hincapié en situar los elementos de mayor producción de ruido interno a la vivienda en un módulo independiente (el módulo técnico), asegurando mayor confort a los habitantes.

En cuanto a la reverberación, que podía ser un problema en una vivienda de un diseño interior con mobiliario situado fundamentalmente en el perímetro a modo de armario y con pocos elementos decorativos adicionales, queda sobradamente solucionada con la elección del material de acabado interior: el corcho. Ello permite dejar los diferentes habitáculos más “pulcros”, asegurando un correcto confort acústico interior.

4.2.- Carpintería: tipo, tamaño y orientación.

Todas las carpinterías utilizadas en los módulos son de madera y tienen rotura de puente térmico con un vidrio 8+12+4+12+8 de baja emisividad, consiguiendo una transmitancia muy baja ($0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Existen dos situaciones muy diferentes: verano e invierno. El patio está cubierto por unas hojas que simulan el efecto de una parra natural, típica cubrición de un patio andaluz formada por hoja caduca que en invierno cae permitiendo la entrada de iluminación y radiación. Sin embargo, en verano, la parra está muy poblada lo que genera, un efecto contrario, un espacio sombrío. Pues bien, en patio 2.12, se lleva a cabo el mismo proceso de manera tecnificada. Durante el invierno (fig.7), la parra se gira dejando entrar la máxima radiación en el patio y en verano (fig.8) ocurrirá lo contrario, evitando y reduciendo la radiación considerablemente.

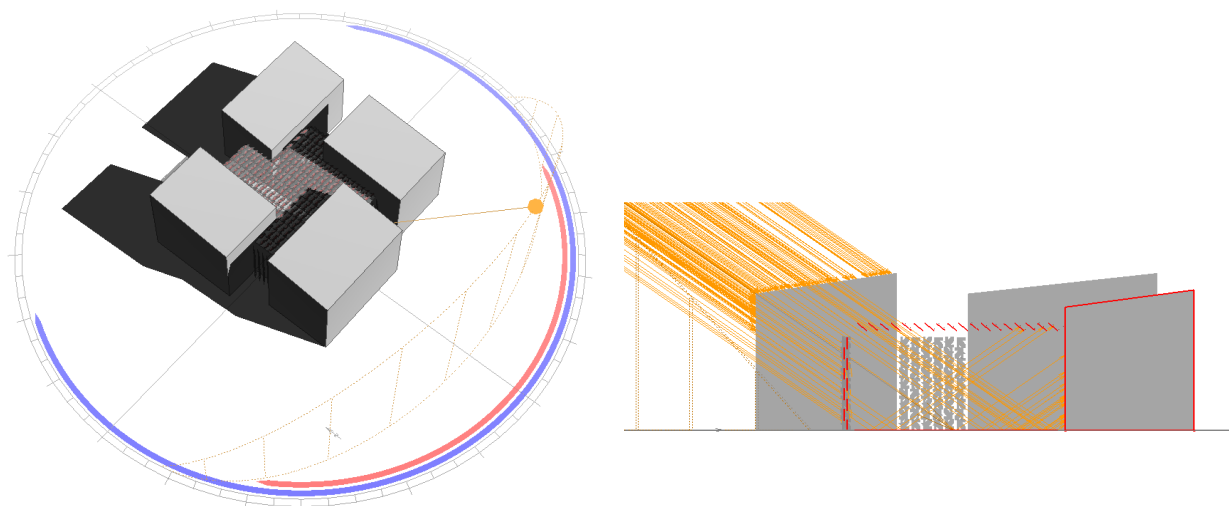


Fig. 7 “Incidencia solar en invierno”

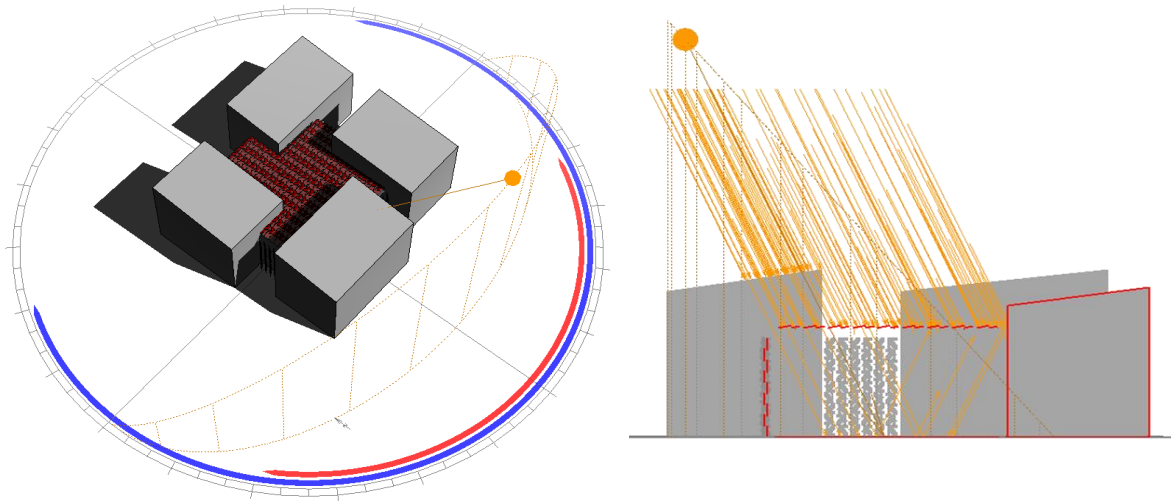


Fig. 8 “Incidencia solar en verano”

Puesto que parte del consumo energético proviene de la iluminación artificial, cada uno de los módulos han sido estudiados y simulados para obtener el máximo aprovechamiento de la iluminación natural obteniendo los requerimientos lumínicos y visuales adecuados. Los huecos cuentan con unas contraventanas que en función de los requerimientos lumínicos y visuales, éstas pueden permanecer abiertas o cerradas. En días de invierno, pueden permanecer cerradas, ya que podemos tomar la suficiente iluminación del patio, puesto que las lamas se orientan para recibir la máxima iluminación. Sin embargo, en días de verano cuando las lamas se colocan de manera que el patio esté lo más sombrío posible, se abren logrando mantener similares características.

Para conseguir un adecuado ambiente luminoso, hemos tenido en cuenta dos parámetros que van relacionados con la iluminación del espacio [4]:

- a) La iluminancia y su distribución en el área de la tarea y el área circundante tienen un gran impacto en cómo una persona percibe y realiza la tarea visual de un modo rápido, seguro y confortable. La Iluminancia se define como el flujo luminoso recibido por una superficie (1):

$$E = \Phi / S \text{ (luxes)} \quad (1)$$

- b) El Factor de luz diurna (FLD) se define como la iluminación de luz natural medida en un punto situado en un plano determinado, debida a la luz recibida directa o indirectamente desde un cielo de supuesta o conocida distribución de iluminación (E), y que se expresa en porcentaje (2):

$$\text{FLD (\%)} = E_{\text{int}} / E_{\text{ext}} \quad (2)$$

Se ha realizado un proceso iterativo [5] hasta obtener el máximo aprovechamiento de la iluminación natural, consiguiendo una iluminancia con un valor de 300 luxes y un FLD entre el 3%-5% (fig. 9 y 10), que nos permiten tener una iluminación natural regular para actividades de poca precisión durante la mayor parte del día.

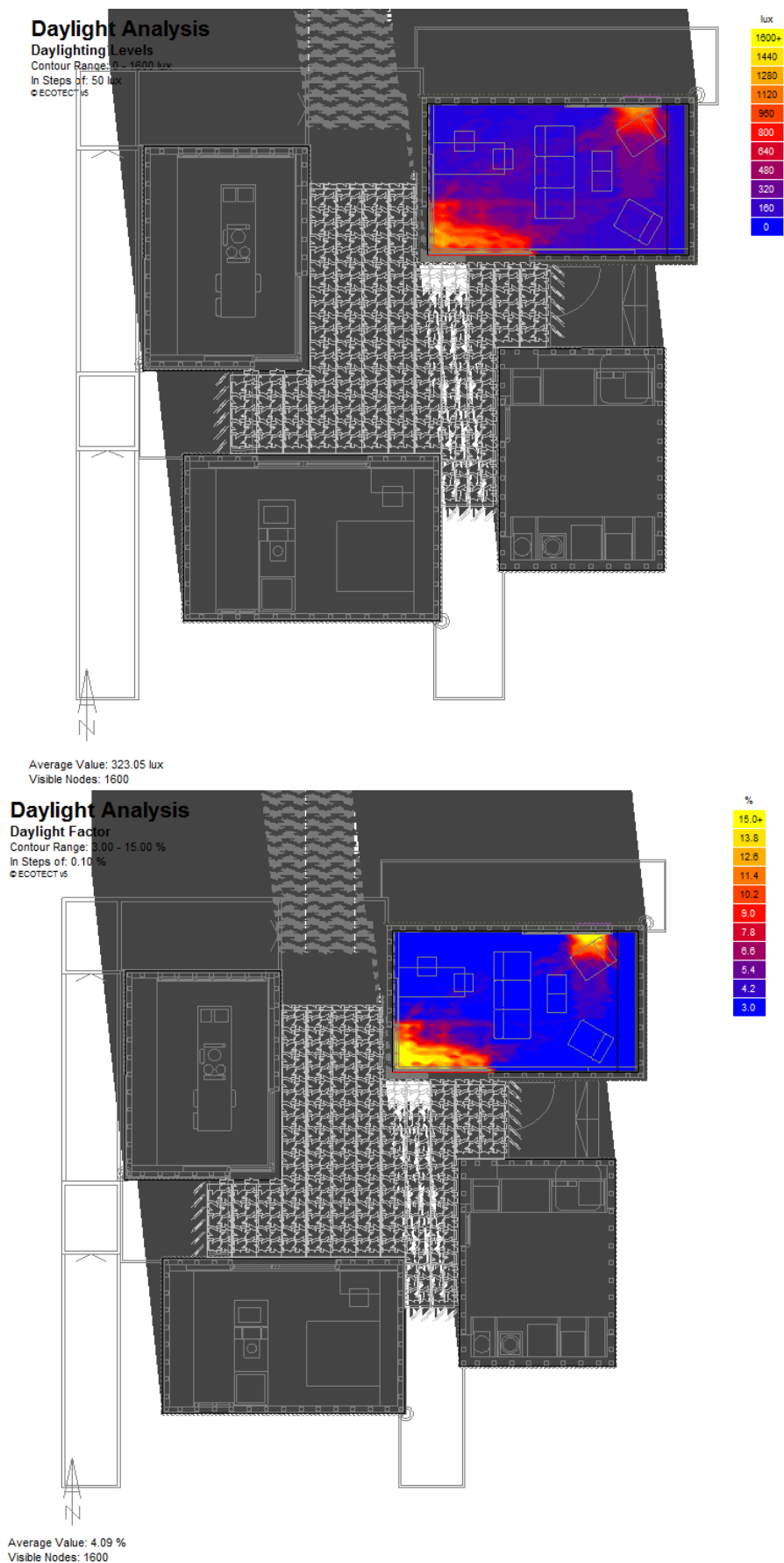
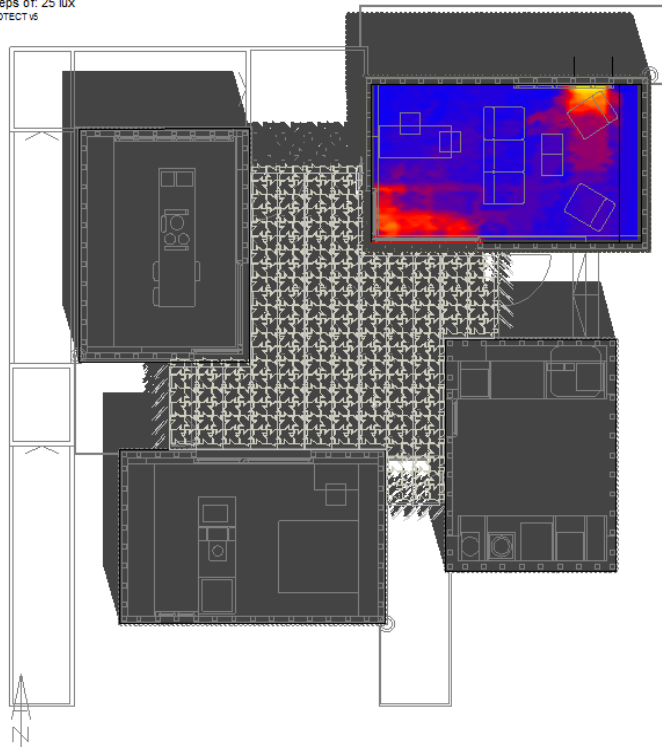


Fig. 9 “Luxes y FLD en el modulo de salón en situación de invierno”

Daylight Analysis

Daylighting Levels

Contour Range: 50 - 1600 lux
In Steps of: 25 lux
© ECOTECT v5

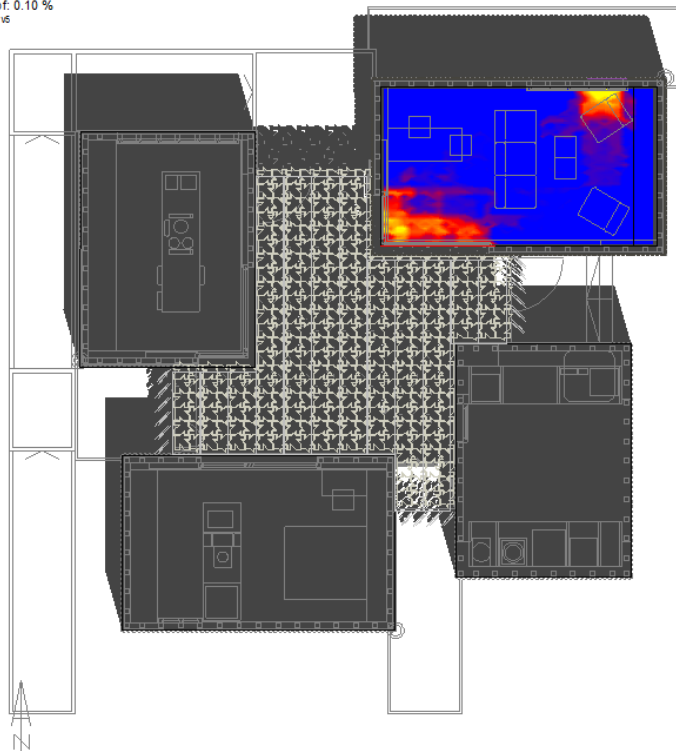


Average Value: 315.05 lux
Visible Nodes: 1600

Daylight Analysis

Daylight Factor

Contour Range: 3.00 - 15.00 %
In Steps of: 0.10 %
© ECOTECT v5



Average Value: 3.75 %
Visible Nodes: 1600

Fig. 10 “Luxes y FLD en el modulo de salón en situación de verano”

4.3.- Sistemas “pasivos” y “semi-pasivos

4.3.1.- Zonificación.

Otra de las acciones que va de la mano con el trabajo proyectual es la zonificación que reduce los espacios de climatización. La organización espacial de la vivienda se realiza de manera compacta en torno al patio. De esta manera se pueden establecer unas condiciones diferentes de confort a las habitaciones y al corazón central. Dotando de mayor eficiencia el uso anual, puesto que se climatizará solo aquella parte de la vivienda que se esté usando. Además, este patio, gracias a su envolvente, es capaz de regular la ventilación y la radiación solar, será utilizado como sistema pasivo para cada uno de los módulos adyacentes.

4.3.2.- Factor de forma

El simple gesto de abrir o cerrar, nos permite alterar el factor de forma del edificio. En verano tenemos un factor de forma de 1,4, ideal para el clima cálido, conseguimos una ventilación cruzada y disipar el calor. Mientras que en invierno, cerramos obteniendo un factor de forma de 1,0, muy adecuado para los climas fríos, nos reduce al mínimo la pérdida de energía (fig. 11).

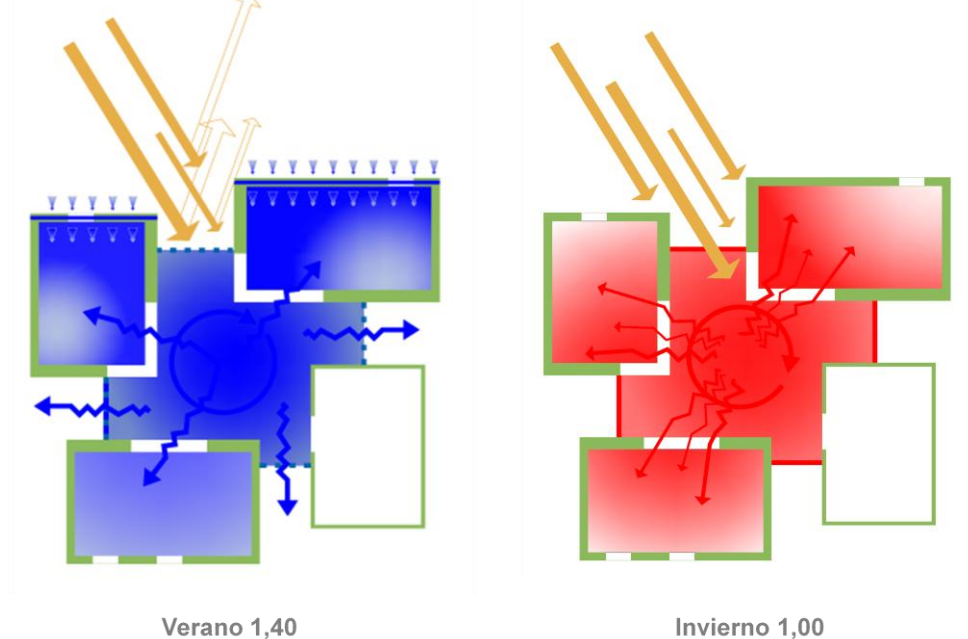


Fig. 11 “Factor de Forma”

4.3.3.- Funcionamiento cohesionado bioclimático para calefacción / refrigeración.

Muchas estrategias entran en juego como herramientas pasivas de calefacción y refrigeración. A continuación describimos el funcionamiento completo.

En días calurosos, se activa la evapotranspiración de la fachada norte, sin exposición solar directa, del módulo de cocina y salón. El acabado cerámico del prototipo añade un sistema de riego capilar interior que consigue que la pieza se enfríe y humidifique gracias a un proceso de evaporación del agua contenida. La cámara de aire situada entre la pieza cerámica y la capa interior se enfría entre 5 y 10 grados (fig.12) [6]. El aire es canalizado hacia el interior a través de unas rejillas motorizadas, que cuentan con unos sensores de temperatura tanto en el interior como en el exterior, permitiendo programar mediante domótica cuándo deberán permanecer abiertas o cerradas. La compuerta de cada chimenea solar se abre,

permitiendo la ventilación transversal de los módulos. Estas han sido diseñadas de forma inclinada con la incorporación de una piedra volcánica que asegura un funcionamiento adecuado. Aún así, cuentan con ventilador híbrido por si la carga térmica fuese mayor (fig.13).

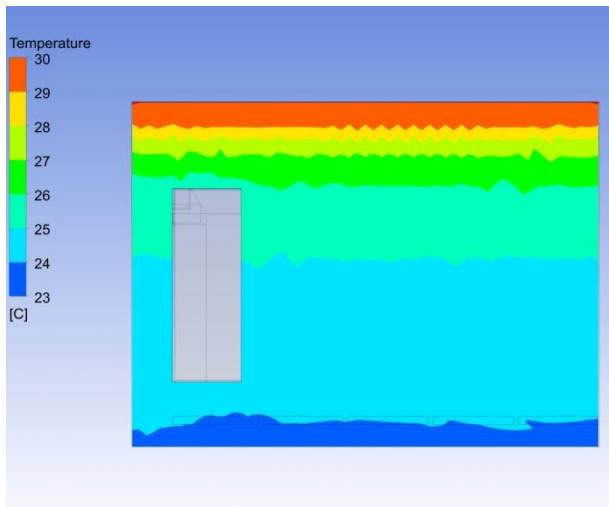


Fig. 12 "Temperatura cámara de aire"

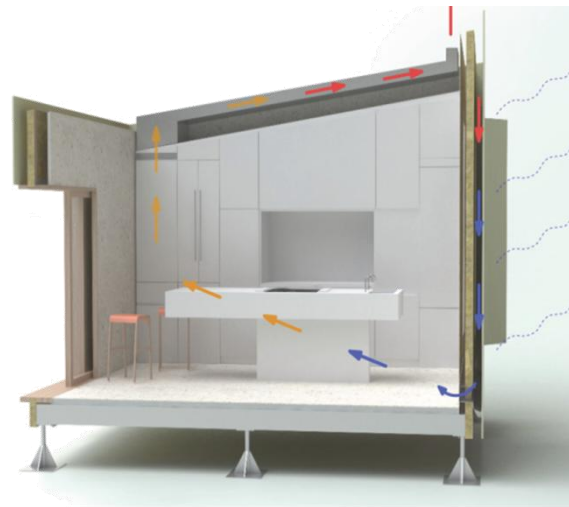


Fig. 13 "Funcionamiento modulo"

Todo esto junto con el material aislante y de cambio de estado, consigue un gran amortiguamiento y gran inercia térmica, traducido en: temperaturas interiores menos alterables y menor oscilación entre los picos máximos y mínimos. El vidrio de baja emisividad minimiza la entrada de radiación solar directa durante el día. El patio se abre, permitiendo ventilar mucho más la casa y disipando mucho más el calor, al tiempo que el factor de forma aumenta considerablemente. Las lamas se giran y el vidrio se abre evitando que se produzca el efecto invernadero (fig.14).

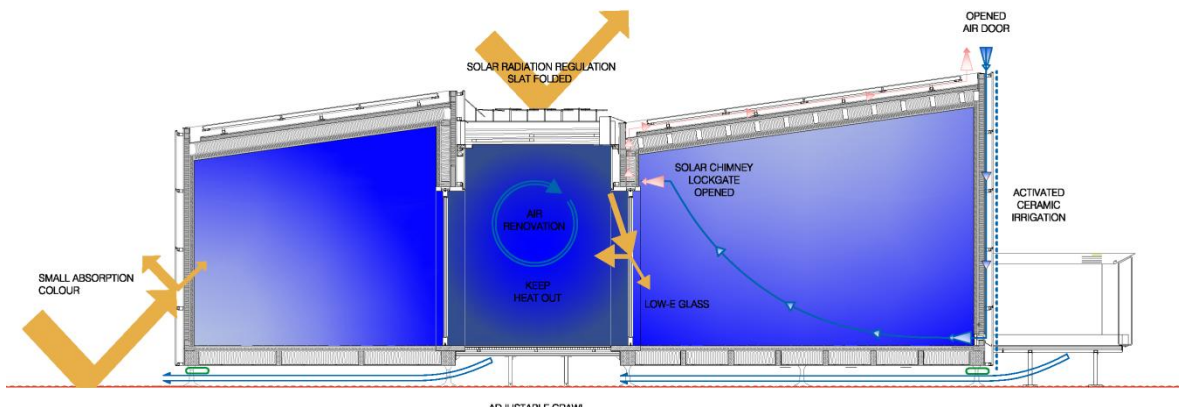


Fig. 14 "Funcionamiento cohesionado días calurosos"

En días fríos la ventilación bajo la casa se anula mediante un sistema neumático automatizado que convierte la cámara en un espacio semiestanco aislante. Las compuertas perimetrales se cierran eliminando el puente térmico gracias a la adhesión de una cinta de polietileno. La evapotranspiración se anula. Todo ello, junto con el material aislante y de cambio de estado, consigue un gran amortiguamiento y gran inercia térmica, traducido en: temperaturas interiores menos alterables y menor oscilación entre los picos máximos y mínimos. El vidrio de baja emisividad evita la disipación de calor. El patio se cierra, disminuye el factor de forma y se consigue el efecto invernadero que permite calefactar gratuitamente las estancias. Gracias a su doble cubierta tecnificada formada por vidrio, haciendo

referencia a las monteras colocadas en casas palaciegas, y la parra, típica cubrición en los patios de los pueblos blancos andaluces, conseguimos un control excelente de la cantidad de radiación, evitando así, un sobrecalentamiento (fig.15). Al anochecer, la parra se gira y este espacio se transforma en un colchón de aire entre los espacios interiores y el exterior que minimiza las pérdidas térmicas. Además, el suelo y las paredes irradian calor, gracias a que ha sido almacenado por la composición constructiva.

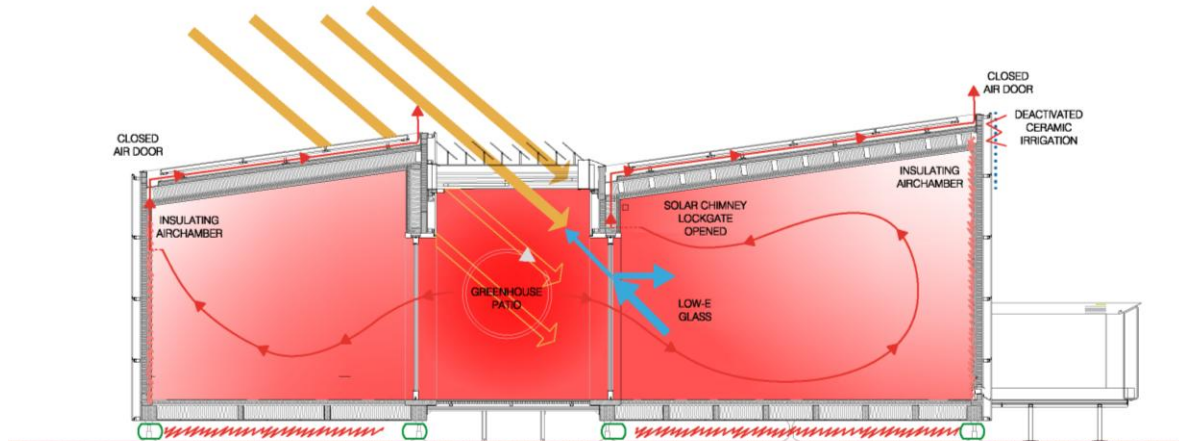


Fig. 15 “Funcionamiento cohesionado días fríos”

4.4.- Sistemas activos.

4.4.1.- Climatización.

Un paso previo a la utilización de la climatización interior de las estancias es el sistema evapotranspirativo del patio. Se trata de un sistema de enfriamiento adiabático situado en el módulo técnico que permite refrigerar toda la vivienda (incluido el patio) con un coste mínimo (EER de 9.6).

Debido a las condiciones impuestas por el concurso, se instala un sistema adicional mediante fancoils que permite refrigerar (y calefactar) sólo aquella parte de la vivienda que se esté usando, dotando de mayor eficiencia en el uso anual de la vivienda cuando se pasan prolongadas horas en determinadas estancias. Estos fancoils cuentan con una batería adicional que permite un primer preenfriamiento, freecooling, con el agua del estanque exterior situado al norte.

4.4.2- Iluminación.

Se ha tenido en cuenta el máximo aprovechamiento de la iluminación natural lo que reduce considerablemente el consumo energético. Unido a ello, se ha diseñado una instalación de iluminación artificial mediante tiras de LED que, apoyados en la instalación domótica, permiten la adaptación luminosa de las diferentes habitaciones en función del grado de iluminación natural interior.

Este modo de funcionamiento consigue ahorrar considerablemente el consumo ya que la luz artificial se amolda a la demanda alejándose del tradicional on/off (todo encendido o todo apagado).

4.4.3- Solar térmica.

Para la generación de agua caliente sanitaria se ha optado por instalar unos paneles solares térmicos por debajo de los paneles fotovoltaicos dando lugar a un panel híbrido sobre la cubierta del módulo técnico. Este panel híbrido ha sido objeto de numerosas investigaciones, pero ninguna de ellas patentada, por tanto, una

instalación innovadora que ha demostrada su eficacia en nuestro prototipo. Este panel nos permite compatibilizar mayor superficie de solar térmica.

La instalación cuenta con dos interacumuladores, uno conectado directamente a las placas solares y otro de apoyo cuyo primario se conecta a la bomba de calor de climatización.

4.5.- El uso del agua.

Diversos mecanismos en el uso del agua son utilizados para conseguir reducir un 30% el consumo del agua respecto a la media española.

Es fundamental en el ciclo del agua el proceso de reutilización, por tanto, se incorporan sistemas y mecanismos de reciclado y re-uso del agua.

Para el tratamiento y reciclado de las aguas grises generadas se ha diseñado una depuradora adaptando al uso doméstico la tecnología de humedales artificiales de flujo vertical con recirculación. El funcionamiento es el siguiente: las aguas grises procedentes de la descarga de lavadora y de las duchas, se conducen a una arqueta de recepción, en la que se ubica una bomba temporizada sumergible que eleva las aguas a la zona superior del humedal. Un sistema de reparto permite la distribución homogénea de las aguas a tratar sobre la superficie de la primera capa del humedal y de ahí va atravesando la capa de gravilla y las distintas zonas de aireación – filtración consecutivas. Finalmente, son recogidas en un depósito inferior de acumulación, donde está instalada una lámpara de UV para la desinfección de las aguas. Posteriormente, son empleadas para el riego del jardín, la irrigación de la cerámica o el baldeo de espacios exteriores.

Esta planta de aguas residuales puede tratar hasta 150 litros al día. Con esta estrategia se vierte un 80% menos de agua residual.

Por otro lado, el prototipo también cuenta con sistemas muy novedosos de Re-uso del agua. Un sistema integrado en el baño permite usar el agua residual del lavabo para el inodoro y otro sistema hidro-ahorro permite desviar el agua aún no caliente de la ducha hasta un depósito. Esta agua, entrará en circuito hidráulico en la siguiente demanda de agua fría, pudiendo ser usada en tal caso.

Por último, se disponen 3 estanques en el exterior, con surtidores de agua, para refrescar por evaporación del agua el ambiente exterior. Se ha dispuesto el estanque de mayor dimensión al norte, donde se garantiza el mayor número de horas de sombra. Este estanque, que también cuenta con surtidores para mantener fresca el agua, sirve como intercambiador de un sistema de enfriamiento gratuito diseñado para la climatización activa de la casa. Cada fancoil, cuenta con una batería por la que pasa el agua enfriada gratuitamente (fig.16).

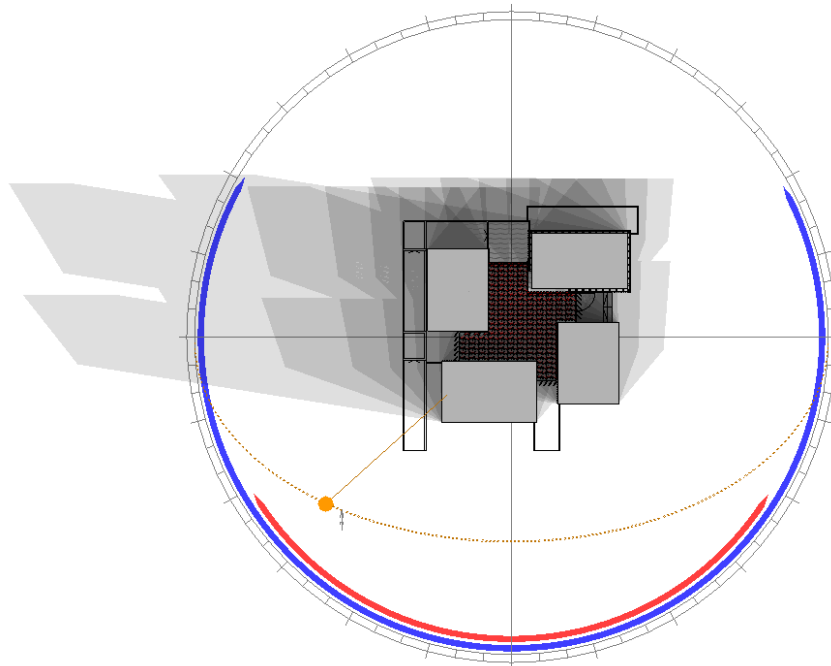


Fig. 16 “Soleamiento exterior”

4.6.- Selección de los materiales.

El prototipo Patio 2.12 utiliza materiales renovables, reciclables y recuperables. En lo posible, se ha recurrido a materiales de la región disponibles, para reducir el consumo energético en el transporte.

Durante la selección de materiales, se ha realizado un proceso de adaptación a la oferta de productos por parte de las empresas, aprovechando los desechos y piezas sobrantes procedentes de otras construcciones.

Uno de los ejemplos más evidentes, es la creación de la parra mediante la reutilización de los residuos de paneles de composite. Éstos fueron seccionados según la geometría diseñada y pintados con los colores elegidos. Dicha pintura es fotocatalítica que permite reducir la contaminación del medio ambiente.

De la misma manera, la pieza de cerámica que envuelve a los módulos, utiliza un molde ya existente para la extrusión. Además, esta cerámica es 100% reutilizable. En el caso de la madera, ésta proviene de bosques de pino sostenibles, el corcho es 100% reciclable y se extrae de Andalucía. El corian, utilizado para el mobiliario de cocina y baño, es 100% reciclable, o el suelo de patio se ha realizado a base de virutas de madera y plásticos reciclados.

Además, la prefabricación de la casa permite reutilizar los módulos una y otra vez. Con este tipo de construcción se puede modificar la casa de acuerdo a los requisitos de sus habitantes. Gracias a la autonomía de cada módulo, la casa se puede ampliar o reducir de acuerdo con el número de módulos necesarios. Es más, el tipo de cimentación utilizada hace posible que la vivienda pueda ser transportada sin dejar ninguna huella en el territorio y situarla fácilmente en una nueva ubicación para su uso y funcionamiento.

Esta es la idea principal de esta construcción ligera, lo que implica que la casa no será demolida sino reutilizada completamente.

4.7. - Balance energético.

Para el cálculo del balance energético, nos hemos basado en los hábitos de consumos de un modelo de vida mediterráneo. Para ello, se ha estimado el consumo de una familia de dos personas durante un año. La producción sobrepasa

al consumo claramente, sobre todo los meses de verano. Por tanto, el balance es claramente positivo: 5,5 veces más producción que consumo (16388 kWh vs. 2982 kWh) (fig.16).

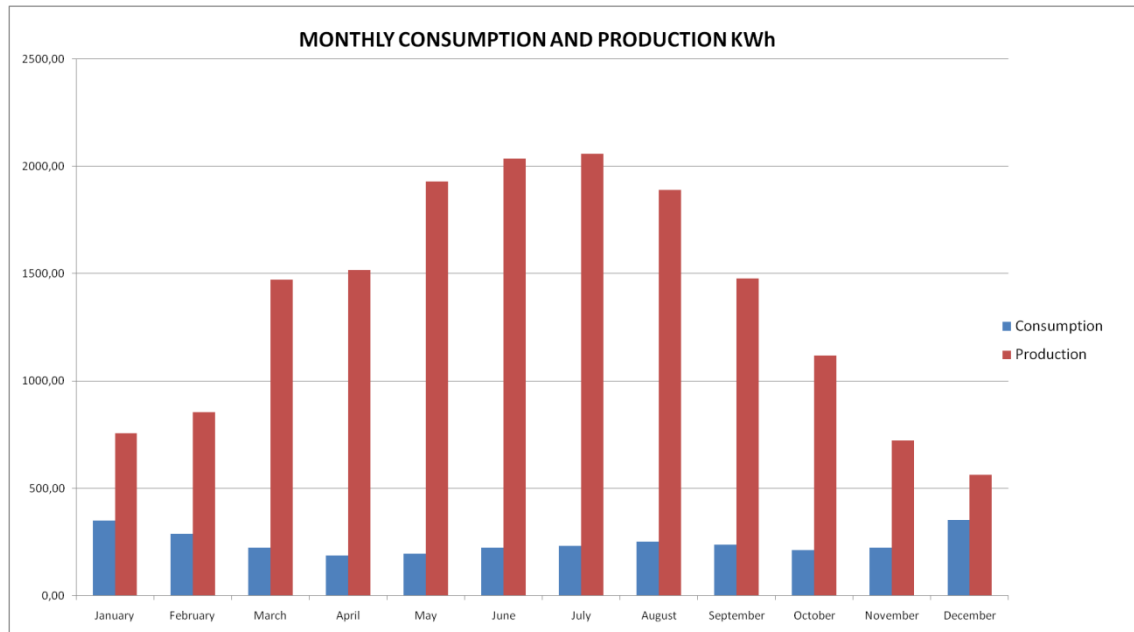


Fig. 16 “Consumo y producción mensual”

La eficiencia energética final de Patio 2.12 es clase A+ (Tabla 2) [7].

Concepto	Edif. Objeto	Edif. Referencia
Energía Final (kWh/año)	3497.9	10075.4
Energía Final (kWh/(m²año))	33.2	95.8
En. Primaria (kWh/año)	0.0	16739.4
En. Primaria (kWh/(m²año))	0.0	159.1
Emisiones (kg CO2/año)	0.0	4282.5

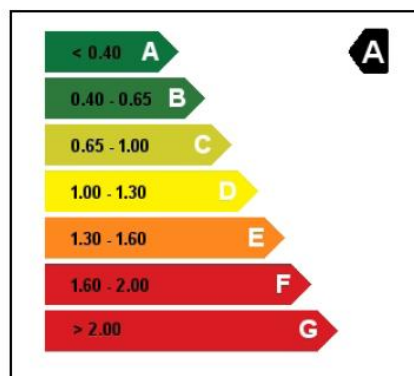


Tabla 2. Eficiencia Energética

Con esas estrategias acerca de los materiales ya disponibles y reutilizables que han cancelado el proceso de extracción, disminuido el CO₂ durante la fabricación y reducido la cantidad de materiales de desecho, junto con las estrategias bioclimáticas y el consumo mínimo de los sistemas instalados, se ha calculado un análisis de ciclo de vida para 35 años donde el balance energético resulta

claramente positivo, sólo necesitamos 6 años (gracias a la alta eficiencia de los paneles fotovoltaicos), para producir toda la energía necesaria para la casa durante su vida útil.

REFERENCIAS.

- [1] Biblioteca de materiales LIDER. Aplicación informática que permite cumplir con la opción general de verificación de la exigencia de Limitación de Demanda Energética establecida en el Documento Básico de la Habitabilidad y Energía del Código Técnico de la Edificación (CTE-HE1)
- [2] Biblioteca de materiales DESIGN BUILDER. Herramienta de simulación energética de edificios avanzada, al tiempo que ha sido desarrollada para simplificar enormemente el proceso de modelado y análisis de resultados, permitiendo optimizar en tiempo y presupuesto la evaluación energética de los proyectos.
- [3] Datos climáticos proporcionados por Solar Decathlon Europe (File Madrid-TMY-Data).
- [4] Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios / Comité Español de Iluminación, Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía, [con la colaboración del Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España].
- [5] Biblioteca de materiales de ECOTECT, software de análisis y simulación energética de los edificios.
- [6] ANSYS-CFX, software de alto rendimiento para resolver una amplia gama de problemas de dinámica de fluidos.
- [7] Programa informático CALENER GT, herramienta que permite determinar el nivel de eficiencia energética correspondiente a un edificio.